

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3534796 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:
B21D 26/00
H 05 B 6/14
B 23 K 26/00

②1 Aktenzeichen: P 35 34 796.1
②2 Anmeldetag: 30. 9. 85
④3 Offenlegungstag: 2. 4. 87

DE 3534796 A1

⑦1 Anmelder:
Kopp, Reiner, Prof. Dr.-Ing., 5100 Aachen, DE

⑦4 Vertreter:
Plöger, U., Dipl.-Ing., PAT.-ANW., 4000 Düsseldorf

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Formgebung von Blechen und Tafeln

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie auf eine Vorrichtung zur Formgebung von Blechen und Tafeln. Grundsätzlich wird hierbei eine Einspannung der zu verformenden Werkstücke vorgenommen, so daß sich eine elastische Umformung ergibt. Sodann wird in einer oberflächennahen Schicht des unter elastischer Spannung stehenden Werkstückes die Umformenergie mittels elektrisch induzierter Wärme eingebracht, so daß das Material unter dem Einfluß der elastischen Spannung innerhalb dieser Schicht zum Fließen kommt, indem durch Temperaturerhöhung der Umformungswiderstand überwunden wird. Auf diese Weise lassen sich richtungsunabhängige Verformungen erheblichen Ausmaßes erzielen, ohne daß es dabei zu Spuren bei Einspannung, wie beispielsweise beim Streckziehen, kommt, denn die für die Einspannung vorgesehenen Mittel sind Stützen, die praktisch ohne Einspannflächen am Werkstück angreifen.

DE 3534796 A1

1. Verfahren zur Formgebung von Blechen und Tafeln aus Metallen mit elastischem und plastischem Umformverhalten, bei dem das Werkstück eingenspannt und durch Einstellung der Einspannmittel elastisch im Ausmaß wenigstens eines Teiles der vorgesehenen Formgebung gebogen wird, woraufhin die Werkstückoberfläche mit Umformenergie mit der Maßgabe beaufschlagt wird, daß die elastische Einspannkraft abgebaut und die elastische Werkstückverformung in eine plastische Werkstückverformung überführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Umformenergie mittels elektromagnetisch induzierter Wärme kontinuierlich so lange auf die Oberfläche des Werkstückes zur Einwirkung gebracht wird, bis die Fließgrenze wenigstens in oberflächennahem Umformbereich überschritten ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Umformwerkzeug mittels einer räumlichen Koordinatensteuerung über die Oberfläche des Werkstückes geführt wird.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die in Abhängigkeit von der elastischen Einspannkraft der Einspannmittel gesteuerte Energieabgabe des Umformwerkzeuges bei konstant bleibender Geschwindigkeit desselben verändert wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Geschwindigkeit des Umformwerkzeuges bei konstant bleibender Energieabgabe desselben in Abhängigkeit von der elastischen Einspannkraft gesteuert wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Umformenergie mittels der Einstellung eines Lasers eingebracht wird.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Umformenergie bei Beaufschlagung mittels eines Induktors durch im Werkstück erzeugte Wirbelströme eingebracht wird.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück sowohl randseitig als auch flächenseitig der Einspannung ausgesetzt ist.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspannung magnetisch am Werkstück angreift.
9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspannung mittels Unterdruck am Werkstück angreift.
10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5 sowie 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Absorptionskoeffizient der Werkstückoberfläche vor der Beaufschlagung vergrößert wird.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß sie hydraulisch in vertikaler Richtung einstellbare Stützen (1) auf einem nach Flächenkoordinaten (2, 3) eingeteilten Feld (4) aufweist, oberhalb desselben ein Rahmen (5) angeordnet ist, der einen in den Flächenkoordinaten (2, 3) des Feldes (4) verfahrbaren Schlitten (6) trägt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebsorgane (9, 10, 11) für den Schlitten (6) von der Einspannkraft der ihnen zugeordneten Stützen (1) derart gesteuert sind, daß die Schlittengeschwindigkeit mit Abnahme der

Einspannkraft ansteigt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgabe der Energie des Umformwerkzeuges (7) von der Einspannkraft der seiner jeweiligen Stellung zugeordneten Stützen (1) derart gesteuert wird, daß sie mit Abnahme der Einspannkraft zurückgeht.

14. Vorrichtung nach den Ansprüchen 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Umformwerkzeug (7) vertikal nach Maßgabe des zu verformenden Werkstückes (17) verstellbar ist.

15. Vorrichtung nach den Ansprüchen 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine kombinierte Stellung sowohl der Schlittengeschwindigkeit als auch der induzierten Wärmeenergie in Abhängigkeit von der Einspannkraft aufweist.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Formgebung von Blechen und Tafeln aus Metallen mit elastischem und plastischem Umformverhalten entsprechend der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bezeichneten Art.

Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gemäß Obegriff des Anspruchs 10.

Bei einem nach der DE-OS 31 11 149.3 bekannten Verfahren dieser Art wird ein Werkstück bei zwei sich gegenüberliegenden Kanten eingespannt und sodann unter Annäherung der Einspannmittel elastisch im Ausmaß der vorgesehenen Formänderung gebogen, anschließend kommt es zu einer dynamischen Beaufschlagung der Werkstückoberfläche mittels eines oder mehrerer Schlagstempel, der oder die bei jedem einzelnen Schlag in einem wenigstens drei Mal so lange wie breiten Aufschlagbereich auf die Werkstückoberfläche zur Einwirkung gebracht werden, womit quer zur Längsrichtung dieser Auffangfläche eine Streckung erreicht wird. Die Verformungsenergie wird hierbei jeweils in Form von diskreten Schlägen in die Werkstückoberfläche derart eingebracht, daß die Fließwiderstände überwunden werden. Eine kontinuierlich anpaßbare Energieeintragung ist bei diesem Verfahren demnach nicht vorgesehen. Darüber hinaus besteht eine ausgeprägte Verformungsanisotropie, die das genannte Verfahren in seiner Anwendung auf einachsige Verformungen einschränkt.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabenstellung zugrunde, eine bessere Anpassung der Umformenergie in Abhängigkeit von der jeweils noch bestehenden elastischen Werkstückverformung vorzunehmen, wobei zugleich das Ausmaß und die Richtung der Formänderung frei wählbar sein sollen. Die Verformung soll ferner derart vorgenommen werden, daß die Werkstückoberfläche keine von den einzelnen Schlägen herrührende Verformungsspuren mehr erkennen läßt. Darüber hinaus soll auch vermieden werden, daß es im Bereich der Werkstückoberfläche zu von der Verformung herrührenden äußeren, zusätzlichen Umformspannungen kommt.

Die Erfindung löst diese Aufgabenstellung durch den Vorschlag gemäß dem Kennzeichnungsteil des Patentanspruchs 1, für den die Vorschläge der Unteransprüche 2 bis 9 vorteilhafte Weiterentwicklungen vorsehen. Eine zweckmäßige Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens wird in den Unteransprüchen 10 bis 12 vorgeschlagen.

Durch die Einbringung der Umformenergie mittels elektromagnetisch induzierter Wärme wird Gebrauch von einer oder mehreren Energiequellen gemacht, die sich kontinuierlich bezüglich ihrer Energieabgabe einstellen lassen. Damit gelingt es, den Ablauf und die Beendigung der Energiezuführung genau entsprechend dem elastischen Spannungszustand festzulegen. Durch die Wahl von Wärme als Energie erfährt der Umformvorgang insofern eine grundlegende Änderung, als in der sich an die Oberfläche anschliessenden Zone keine äußeren Spannungszustände mehr erzeugt werden, sondern tatsächlich lediglich noch vorhandene, innere Spannungen abgebaut werden. Die Umformung wird ausschließlich noch dadurch hervorgerufen, daß das unter elastischer, innerer Spannung stehende Material teilweise ins Fließen gebracht wird. Wenn die der Überwachung unterliegende Einspannkraft auf diesem Wege abgebaut ist, ist das Werkstück selbstverständlich nicht spannungsfrei, jedoch sind die dann noch verbleibenden Eigenspannungen lediglich noch ein Teil derjenigen, die durch den Einspannvorgang bzw. durch die Abkühlung erzeugt wurde.

Insbesondere gelingt es durch die Einbringung der Umformenergie durch elektromagnetisch induzierte Wärmezufuhr, eine unerwünschte durchgreifende Erhitzung des Werkstückes zu vermeiden. Dies liegt daran, daß sich entweder sehr hohe Energiedichten wählen lassen, die, ohne die Werkstückoberfläche durch Schmelzflüsse zu schädigen, zu einer sehr genau begrenzten Erhitzungszone führen, oder aber die Wärme im Werkstück selbst erzeugen läßt. Insbesondere kommen daher Laser sowie Wirbelströme erzeugende Induktoren für die Ausführung des Verfahrens in Anwendung. Die Begrenzung der Energieaufnahme auf die sich an die Werkstückoberfläche anschließende Zone ist vor allem dank der kontinuierlichen Einstellbarkeit der Energieabgabe der vorgeschlagenen Umformwerkzeuge möglich.

Die Begrenzung der Wärmezufuhr auf die oberflächennahe Schicht ermöglicht es, im Anschluß an den dort erzielten Spannungsabbau auf besondere Abkühlmaßnahmen zu verzichten, weil die Wärme dann teilweise nach außen abgeführt und teilweise in das Werkstück selbst abgeleitet wird. Wegen der begrenzten Wärmemenge vermag sich das Werkstück selbst hierbei nicht mehr nennenswert zu erhitzen, so daß es praktisch bei der erzielten Umformung bleibt.

Um die sich aus der Möglichkeit einer anisotropen Umformung ergebenden Vorteile voll ausschöpfen zu können, ist es zweckmäßig, das Umformwerkzeug mittels einer räumlichen Koordinatensteuerung über die Oberfläche des Werkstückes zu führen. Man kann dann die Energieabgabe des Umformwerkzeuges in Abhängigkeit von der Einspannkraft der Anspannmittel bei konstant bleibender Geschwindigkeit des umformwerkzeuges verändern oder aber bei konstant bleibender Energieabgabe die Geschwindigkeit des Umformwerkzeuges in Abhängigkeit von der elastischen Einspannkraft steuern. Schließlich läßt sich auch mit einer Kombination beider Möglichkeiten eine sehr feinfühligte Einbringung der Umformenergie gewährleisten.

Die Abstützung des Werkstückes durch seine Einspannung vollzieht sich derart, daß man die Umformung zunächst elastisch vornimmt. Da die Umformrichtung nicht festgelegt ist, läßt sich das Werkstück sowohl randseitig als auch flächenseitig der Einspannung aussetzen, wobei die Einspannkraft der Spannmittel der meßtechnischen Überwachung unterliegt. Während die

Einspannung am Rand durch Greifklemmen keine Schwierigkeiten bedeutet, bedarf die flächige Einspannung besonderer Mittel, um die für die Einspannung vorgesehenen Stützen zur Einwirkung auf das Werkstück zu bringen. Die letztgenannte Einspannung greift daher vorteilhaft magnetisch oder mittels Unterdruck am Werkstück an. Hiermit wird eine Abstützungsmöglichkeit geschaffen, die sowohl im konvexen als auch konkaven Bereich anwendbar ist.

Die zur Durchführung des vorgeschlagenen Verfahrens vorgesehene Vorrichtung besitzt in vorteilhafter Ausführung auf einem nach Flächenkoordinaten eingeteilten Feld hydraulisch in vertikaler Richtung einstellbare Stützen, die der Einspannung des Werkstückes dienen.

Obenhalb des Werkstückes ist ein Rahmen vorgesehen, der entsprechend den Flächenkoordinaten des Feldes einen verfahrbaren Schlitten trägt, auf welchem das Umformwerkzeug nach Maßgabe der vorzunehmenden Verformung vertikal verstellbar ist. Während ein Induktor zur Erzeugung von Wirbelströmen besonders dicht an die Oberfläche des Werkstückes herangeführt werden muß, im Anschluß hieran aber auch seine Lage nicht mehr zu verändern braucht, gestattet es die Anwendung eines Lasers, das Umformwerkzeug mit größerem Abstand vom Werkstück anzuordnen. Dabei kann auch davon Gebrauch gemacht werden, die Einstrahlrichtung des Lasers der jeweiligen Umformung entsprechend einzustellen, so daß insbesondere die auftreffende Energie ständig aus der Normalrichtung eingebracht werden kann, wenn es darauf ankommt, mit einer besonders hohen Energiedichte zu arbeiten. Wenn die Energiedichte hingegen herabgesetzt werden kann, kommt auch eine Schrägeinstrahlung in Betracht, in welchem Falle entsprechend den bekannten Winkelbeziehungen die Energiedichte bei Vergrößerung der Fläche verringert ist. Soweit erforderlich, kann die Werkstückoberfläche auch noch besonders energieabsorbierend ausgeführt werden, indem beispielsweise durch Beschichtung ihr Absorptionskoeffizient verändert wird.

Für den Fall einer konstant bleibenden Energieabgabe des Umformwerkzeuges werden die Antriebsorgane des das Umformwerkzeug tragenden Schlittens in Abhängigkeit von der Einspannkraft derart gesteuert, daß sie mit Abnahme der Einspannkraft eine erhöhte Schlittengeschwindigkeit ergeben. Ferner erfährt die Vertikalverstellung eine Nachsteuerung, für welche die jeweilige Höhenlage der in vertikaler Richtung einstellbaren Stützen des Feldes maßgeblich ist, wenn das Umformwerkzeug ein Induktor ist.

Im Falle einer Veränderung der Energieabgabe des Umformwerkzeuges derart, daß mit Abnahme der Einspannkraft weniger Energie abgegeben wird, läßt sich demgegenüber die Schlittengeschwindigkeit konstant wählen.

Schließlich ist entsprechend der vorgeschlagenen Verfahrensbedingung auch noch die Verbindung beider Steuereinrichtungen erfindungsgemäß möglich.

Zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der zu seiner Durchführung vorgeschlagenen Vorrichtung wird auf die Zeichnungen Bezug genommen. Darin zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Spannungs- und Fließbereiches bei einem umzuformenden Werkstück, während

Fig. 2 die schematische Anordnung einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens darstellt.

Das Werkstück 17 ist in Fig. 1 unter dem Einfluß der

Einspannkraft 13 im Schnitt dargestellt. Dabei besteht infolge der Umformung etwa im mittleren Bereich eine neutrale Faser, unterhalb welcher sich Druckspannungen 14 und oberhalb welcher sich Zugspannungen 15 aufbauen. Sofern die Kraft 13 in anderer Richtung wirksam wäre, wären die Druck- und Zugspannungen vertauscht. Für die Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es indes gleichgültig, ob die Krümmung konkav oder konvex ist, und von welcher Seite die Beaufschlagung erfolgt. In der Regel erfolgt die Beaufschlagung mittels der Umformenergie von der Seite, von welcher keine Stützen 1 auf das Werkstück 17 einwirken.

Die Umformenergie wirkt nun innerhalb einer verhältnismäßig dünnen, sich an die Oberfläche 18 anschließenden Schicht 16 auf das Werkstück 17 ein. Dabei wird in dieser Einwirkungsschicht die im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 bestehende Zugspannung in der Form wirksam, daß durch die induzierte Wärme in der Schicht 16 der Umformwiderstand so weitgehend gesenkt wird, daß es zum Fließen des Werkstoffes in dieser Schicht kommt. Dieses Fließen wirkt sich dahingehend aus, daß die zunächst zumindest teilweise elastische Umformung in eine plastische Umformung überführt wird. Die einspannende Kraft 13 geht in der gleichen Weise zurück, wie dieser Wechsel von der elastischen in die plastische Umformung abläuft.

Die Einspannkraft 13 wird unmittelbar von den Stützen 1 übernommen, die auf dem Feld 4 angeordnet sind. Dabei sind sie entsprechend der Flächenkoordinaten 2, 3 verteilt, wobei diese Flächenkoordinaten so gewählt sind, daß sie die Einspannung des Werkstückes 17 gestatten. Jede der Stützen 1 ist in der senkrechten Richtung 12 einstellbar, um mit einem Unterdruck- oder magnetischen Koppelstück am Werkstück 17 von der Unterseite her anzugreifen.

Oberhalb des Feldes 4 erkennt man einen Rahmen 5, von dem aus Gründen der Anschaulichkeit lediglich zwei sich gegenüberliegende Schienen 5 dargestellt sind. Auf diesen Schienen 5 ist ein Träger 19 parallel zu den Schienen 5 verfahrbar. Er besitzt zu diesem Zweck ein schematisch mit x bezeichnetes Antriebsorgan 10, welches in an sich bekannter Weise zum Beispiel eine Spindel mit einem ortsfest gelagerten, angetriebenen Gewinde sein kann. Entsprechend der Richtung des Doppelpfeiles, auf den das Antriebsorgan 10 einwirkt, läßt sich der Träger 19 so verfahren, wie es von der Ordinate 3 des Feldes 4 über den Rechner 20 eingesteuert wird. Dabei besteht der Signalfluß 3-10 vom Feld 4 zum Rahmen.

Auf den Träger 19 läßt sich der Schlitten 6 in Längsrichtung des Trägers 19, wie durch den Doppelpfeil angedeutet, verfahren. Diesem Zweck dient ein entsprechend dem Antriebsorgan 10 ausgeführtes weiteres Antriebsorgan 9, das von der Flächenordinate 2 des Feldes 4 über die Signalleitung 2-9 gesteuert wird. Der Schlitten 6 läßt sich mit den bislang beschriebenen Antriebsorganen somit auf die entsprechenden Stellen des Feldes 4 ausrichten. Er trägt das Umformwerkzeug 7, aus dem die Umformenergie, wie schematisch durch die beiden in gleicher Richtung weisende Pfeilspitzen 8 angedeutet ist, austritt. Diese Umformenergie wird an der Oberfläche 18 des Werkstückes 17 absorbiert, sofern es sich um einen Laser handelt. Bei einem entsprechend gestalteten Induktor wird die Wärme in der Schicht 16 in der beschriebenen Weise unmittelbar erzeugt. Die Anordnung bietet für den Fall eines Lasers noch den Vorteil, daß die Einsteuerung auf Grund der senkrech-

ten Ordinate 12 entfallen kann, da sich der Laserstrahl nach Verlassen seiner Austrittsoptik nicht mehr aufweitert. Die Signalleitung 12-11 ist also lediglich obligatorisch für die Verwendung eines Induktors als Umformwerkzeug.

Erhebliche Bedeutung hat die Übertragung der Einspannkraft 13 mittels der in gleicher Weise bezeichneten Signalleitung. Im Rechner 20 wird nach Programmvorgabe festgelegt, ob die Steuerung der Geschwindigkeit des Umformwerkzeuges 7 oder die Steuerung seiner Energieabgabe auf Grund der Einspannkraft 13 erfolgen soll. Demnach besitzen die Antriebsorgane 9, 10 und 11 zusätzliche Einstellmöglichkeiten ihrer Antriebsgeschwindigkeiten.

Bei dem neuen Verfahren besteht nicht nur der Vorteil, ohne Einbringung von dynamisch wirksamer Energie zu einer präzisen Umformung zu kommen, sondern es ergeben sich auch keine Beschädigungen des Werkstückes durch die Art der Einspannung, weil keine Spannflächen benötigt werden und die Art der Ankupplung der Spannstützen praktisch keinerlei Spuren hinterläßt.

Die Erfindung führt schließlich zu einem besonders flexiblen Umformungsverfahren, weil man keinerlei produktbezogene Werkzeuge benutzen muß. Die Umformwerkzeuge lassen sich vielmehr für jeden Umformvorgang in gleicher Weise einsetzen.

Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung bezieht sich auf die Verformung von Aluminiumblechen. Es wurden hierfür Bleche einer Stärke von 3,9 mm verwendet. Die 0,2%-Dehngrenze betrug hierbei 430 N/mm². Im Wege der für das erfindungsgemäße Verfahren zunächst vorzunehmenden Vorspannung wurde die Einspannung derart vorgenommen, daß sich durch diese eine Spannung von 0,64 der 0,2%-Dehngrenze ergab.

Für die Einbringung der Wärme wurde ein CO₂-Laser verwendet, der bei einer maximalen Eingangsleistung von 28 kW eine durchschnittliche Leistung von 1,2 kW abgeben konnte. Die Einstellung für den Versuch wurde auf 800 W vorgenommen.

Der Laserstrahl wurde mit einem Durchmesser des Brennflecks von 6 mm über das eingespannte Blech gefahren. Zunächst war indes die Oberfläche des Bleches mittels Farbe geschwärzt worden. Diese Maßnahme führt im Einstrahlbereich des Lasers zu einer starken Erwärmung und einer bleibenden Krümmung, wobei die bleibende Krümmung bereits eintrat, bevor Brennschmelzen im Metall auftraten. Die Fahrgeschwindigkeiten betrugen 10 mm/s, 20 mm/s und 30 mm/s. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 30 mm/s konnte bereits eine befriedigende Umformung erzielt werden, während die Erhitzungsspuren im Material nur verhältnismäßig gering ausfielen. Bei den Fahrgeschwindigkeiten von 20 mm/s traten demgegenüber Gefügeveränderungen auf, während schließlich bei Fahrgeschwindigkeiten von nur 10 mm/s Ausschmelzungen erkennbar wurden.

Demnach läßt sich bei hinreichend großer Fahrgeschwindigkeit von mindestens 30 mm/s unter den beschriebenen Bedingungen eine befriedigende Umformung erreichen.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wurde die Umformung durch induktive Erwärmung vorgenommen. Hierzu fand ein Induktor Anwendung, der mit einer Frequenz von 10 kHz und einer Leistung von 12 kW betrieben wurde. Der Induktor war ein Platteninduktor, mit dem eine Oberfläche von 10 × 10 cm² bearbeitet werden konnte. Die oberflächennahe Schicht des Bleches wurde mit dem Induktor

auf eine Temperatur zwischen 400°C bis 500°C erhitzt,
welche Temperatur ausreichte, um das Material in der
beabsichtigten Weise zum Fließen zu bringen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

3534796

Nummer:

Int. Cl.4:

Anmeldetag:

Offenlegungstag:

3534796

B 21 D 26/00

30. September 1985

2. April 1987

Fig. 1

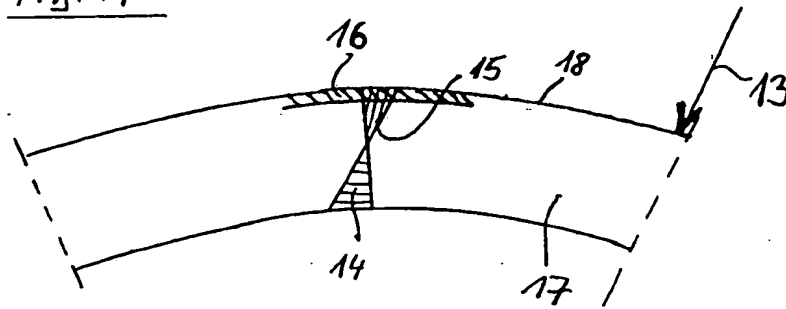


Fig. 2

